

中小水力発電と再生可能エネルギー導入の 地域経済波及効果*

鈴木達也、石原鞠絵、
橋本北斗、眞木優一

1. はじめに

地球温暖化問題への対応として、再生可能エネルギーの普及が重要な政策課題となっている。このため政府は、新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法（1997/4 制定）、電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法（2002/6 制定）、再生エネルギー特別措置法（2011/8 制定）などの法律を整備してきた。再生可能エネルギーに対する期待は、2011 年 3 月の東日本大震災によって引き起こされた福島第一原発事故によってさらに高まっている。すなわち原子力に代わる代替エネルギーとしての期待である。

政府の再生エネルギー特別措置法では、再生可能エネルギーの固定価格買取制度（Feed-in-Tariff: FIT）が導入された。制度施行後、再生可能エネルギーの導入は加速的に進んでいる。特に、買取価格が最も高い太陽光発電（42 円 /kwh）の場合、いわゆるメガソーラーが各地で計画・建設されるようになっている。その一方で、脱原発の世論に逆行する事例も存在する。すなわち、2012 年の建設再開が延期された大間原子力発電所は、地元（大間町）市民ならびに周辺自治体（函館市）の反対をよそに、大間町と青森県がその早期の建設再開を要望している。原発は一旦事故が起きれば多大な被害をもたらすものの、それさえなければ多大な収入が地域にもたらされるためである。

この大間原発の事例が教えるのは、再生可能エネルギーの普及のためには、FIT 等を通じてその採算性を改善するだけでなく、それが地域経済にとっても魅力的なものになる必要があるということである。エネルギー生産企業の立場からは採算性が重要だが、地域の立場からすれば、地域経済に対してより大きな利益をもたらす施設の設置が望ましい。したがって、再生可能エネルギーの普及を促進するにあたって、その地域への経済波及効果の大きさは、重要な普及要因になると考えられる。

* 早稲田大学社会科学総合学術院赤尾健一教授の指導の下に作成された。

そこで本研究では、原発や化石燃料によるエネルギー生産を、再生可能エネルギーで代替した場合の地域経済への波及効果を調べる。

以下、本研究は次のように構成されている。続く第2節では、本研究に関連する研究として中村他（環境省, 2011）による研究結果を紹介する。中村の研究は太陽光および風力発電を対象とするものである。そこで、本研究ではこれらに並ぶ導入ポテンシャルをもつ中小水力発電に注目する。第3節では、中小水力発電について、導入ポテンシャル、普及の現状を説明する。第4節では、産業連関分析を応用して、再生可能エネルギー導入の経済波及効果を試算する。はじめに考え方とモデルを示す。次に東北地域を選んで、必要な投入係数行列等を調整する。その上で、原子力を再生可能エネルギーに代替する3つのシナリオについて、経済波及効果を試算する。最後に、試算結果に基づいて中小水力発電の普及可能性について論じる。

2. 既存研究のレビュー

再生可能エネルギー導入が地域経済に及ぼす影響を定量的に評価した研究として、岡山大学の中村良平が中心となって取りまとめた「環境・地域経済両立型の内生的地域格差是正と地域雇用創出、その施策実施に関する研究」（環境省, 2012）がある。

その研究は、原子力発電の停止・廃炉を他の電源で賄う場合を想定し、再生可能エネルギーの中でも太陽光・風力発電を導入することの地域経済効果を分析している。以下では、その研究報告書の中から東北地域に関する研究を紹介する。

環境省（2012）は、経済産業省経済産業政策局による「2005年地域間産業連関表」を利用して、産業連関分析によって、次の3つのシナリオの地域経済効果を試算した。すなわち、

1. 原発を火力発電のみで代替（供給先は従前どおり）
2. 原発を太陽光および風力発電で代替し不足分を火力で代替（供給先は従前どおり）
3. 想定はシナリオ2と同じだが、再生可能エネルギーで発電された電力は関東に全て売電（但し、東北地域での電力不足分は、東北地域の火力発電で追加的に補う）

である。なお、シナリオ2、シナリオ3については、A: 1%、B: 10%、C: 最大導入可能量の35.97%と、再生可能エネルギーの導入量がシナリオに加えられている。

分析手順は、第一に各シナリオ別に算出された地域間投入係数と輸入率より逆行列係数表を作成する。この逆行列に最終需要ベクトルを乗じて最終需要による経済波及効果を求め、各シナリオ別の算出結果を比較し、再生可能エネルギー導入の経済効果を分析する。なお、最終需要額ベクトルは、どのシナリオにおいても同一（元の産業連関表の値）とするが、再生可能エネルギーを導入するケースでは、発電単価の増額分だけ電力部門の需要

表 2-1 シナリオ別結果

	シナリオ 1 火力で代替	シナリオ 2 再生可能エネルギーで 代替し、残りを火力で 代替。供給地は従前ど おり	シナリオ 3 再生可能エネルギーで 代替し、残りを火力で 代替。供給地は再生可 能エネのみ関東へ	再生可能エ ネルギー導 入量
生産額の変化 (億円)	268	282	820	A…1%
		456	5778	B…10%
		934	19908	C…35.97%

注：環境省（2012）より作成

額は増加するとしている。

シナリオ別の結果は、シナリオ 1 では、従前の原発有りの場合と比べて、東北地域は 268 億円の生産額増となる。シナリオ 2-A では、282 億円の生産増となる。シナリオ 3-A では、820 億円の生産増となる。シナリオ 2-B では、456 億円の生産増となる。シナリオ 3-B では、5778 億円の生産増となる。シナリオ 2-C では、934 億円の生産増となる。シナリオ 3-C では、1 兆 9908 億円の生産増となる。以上を表 2-1 にまとめた。

このように環境省（2012）では、再生可能エネルギーによる原子力の代替は、地域にプラスの経済波及効果をもたらす。その大きさは、火力による代替よりも大きく（シナリオ 1 とシナリオ 2 の比較による）、再生可能エネルギー導入量が増加するにしたがって大きくなる（シナリオ 2 A、B、C の比較）。また、再生可能エネルギーの発電分がすべて関東地域に移出されるならば、その地域経済効果はけた違いに増加することも示されている（シナリオ 3）。環境省（2012）は、これらのことから、ポテンシャルの大きい東北地域で発電し、消費需要の大きい関東へ売電するという形態が、格差是正の観点からも、全体的な経済効果の観点からも望ましいと考えられると結論付けている。一方で、数値は示されていないが、環境省（2012）では、東北地域で太陽光発電・風力発電を行う場合、発電分を自地域で使うと、従来電源（原子力、火力）がもたらす経済効果との大小関係から、正の経済効果をもたらさない場合があることも報告されている。

3. 中小水力発電の可能性

第 2 節でみた中村他の研究（環境省, 2012）は、太陽光発電と風力発電を対象としたものだった。本研究では、それらに匹敵する有望な再生可能エネルギーである中小水力発電に注目する。本節では、中小水力発電について、その導入ポテンシャルと導入状況を明らかにする。

3-1. 中小水力発電の定義

水力発電とは名前の通り「水の力」で発電するものである。発電する際に大切な要素として、落差があげられる。水量と落差によって発電機のタービンを回して発電するのである。我が国では、出力3万kW以下を「中小水力発電」と呼ぶことが多い。また、「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法（新エネ法）」では、出力1000kW以下の比較的小規模な発電設備を総称して「小水力発電」と呼んでいる。海外では、ヨーロッパ小水力発電協会が1万kW以下を小水力としている。

一般的な水力発電とはダムに水を貯め、落差で発電する方式だが、このような発電方法は、中小水力発電に対して大水力発電（または大規模水力発電）といえる。ただし、この名称は一般的ではない。なぜなら、もともと水力発電とは大規模なダム開発が伴うことが当たり前であったからである。このため「水力発電」といえば普通は大水力発電を指す。（大）水力発電に対比されるものとしての中小水力発電は、単に発電規模が小さいだけでなく、ダム開発のような環境破壊を伴わないという特徴を有している¹⁾。たとえば、小水力発電は河川や農業用水を利用し、河川の場合、岸側に水路を作り発電するケースが多い。景観を壊すような、川の真ん中に施設を建てるといったことはしない。

以上のような中小水力発電は、環境に優しい再生可能エネルギーとして、いっそうの普及が期待されている。

3-2. 導入ポテンシャル

では実際に小水力発電の可能性はどれほどあるのであろうか。ここでは、環境省「再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査」（環境省, 2011。以下、ポテンシャル調査）を基に、他の主要再生可能エネルギーとの比較を行う。

なお、この資料を利用する際の注意点として、①異なるエネルギー間の比較、②既開発分の取り扱い、があげられる。①について、「ポテンシャル調査」では試算結果を設備容量（kW）で示している。しかし実際に発電する際は設備稼働率を考慮して電力量（kWh）を算出する必要があるため、異なるエネルギー間の比較は慎重に行わなければならない。②については、ポテンシャルと言うものの、試算結果には既開発分が含まれていることに注意が必要である。また、この資料を読むうえで、理解を要する単語がある。一つ目は「賦存量」である。これは理論的に算出できるエネルギー資源量であり、現在の技術水準では利用することが困難なものを除き、種々の制約要因（土地の傾斜、法規制、土地利用、居住地からの距離等）を考慮しないものである。二つ目は「導入ポテンシャル」である。これはエネルギーの採取・利用に関する種々の制約要因による設置の可否を考慮したエネルギー資源量である。つまり「導入ポテンシャル」は「賦存量」の内数になる。

以下では、中小水力発電の特徴を、太陽光および風力との比較を通じて明らかにする。

表 3-1 再生可能エネルギーの比較

	中小水力	太陽光	風力
設備利用率	65%	12%	20%
発電原価（建設費＋ランニングコスト）	8～25 円 /kWh	37～46 円 /kWh（家庭用）	10～14 円 /kWh
特徴	発電量の変動が少ない	昼間のみの発電で、日射量により発電量は変動	風況により、発電量が変動
長所	再生可能エネルギーの中でも CO2 排出量がかなり低い	FIT で優遇されている	コストが比較的安いので事業性がある
短所	水利権が絡む問題がある	発電量当たりのコストが高い	騒音や、ブレードが危険という問題がある

注：環境省 HP『小水力発電情報サイト』より作成

表 3-1 は、これら 3 つの再生可能エネルギーの概要をまとめたものである。

この表から、中小水力発電は、①安定供給性に優れている（設備利用率が高い）、②発電原価が低い、③温暖化対策の観点でも優れているといった長所があることが分かる。一方、短所としては、表に示されているように、水利権が問題となる場合があることである。これは水力発電の設置と操業に関して、河川等の利用者の承諾が得られるかという問題である。本研究が注目する地域への波及効果が大きいならば、その承諾は得られやすいと考えられる。また、発電が小規模になればなるほど、一般にステークホルダーの数は減る。したがって、（大）水力発電にくらべて中水力発電で、中水力発電に比べて小水力発電で、水利権が問題となることはより少ないと考えられる。

次に、導入ポテンシャルを比較する。まず、太陽光発電に関して、「ポテンシャル調査」はその導入ポテンシャルを、建築物：5200 万 kW、未利用地・耕作放棄地：9700 万 kW と試算している。注意として、「ポテンシャル調査」は対象を非住宅系に限っている。住宅系の太陽光発電の導入ポテンシャルについては、NEDO が 2004 年に試算した結果が参考になる。NEDO（2004）の試算によれば、賦存量は戸建：1.01 億 kW、集合住宅：1.06 億 kW であり、導入ポテンシャルは戸建：3710 万～5310 万 kW、集合住宅：820 万～2210 万 kW である²⁾。合計すると住宅系は 4530 万～7520 万 kW となる。以上の試算を単純に合計することはできないが、参考として、上記の住宅系と非住宅系の試算を合計すると、太陽光発電としての導入ポテンシャルは 1 億 9530 万 kW～2 億 2520 万 kW となる。

次に風力発電の導入ポテンシャルをみる。風力発電は陸上型と洋上型の二つが存在する。賦存量は、陸上型が 13 億 kW である。洋上型に関しては試算されていない。導入ポテンシャルは陸上型が 2 億 8000 万 kW、洋上型が 16 億 kW と試算されている。合計すると風力発電の導入ポテンシャルは 19 億 kW となる。

表 3-2 発電量の比較

	中小水力	太陽光	風力
導入ポテンシャル (万 kW)	1,400	19,530~22,520	190,000
発電量 (億 kWh/年)	797	2,053~2,367	33,288

注：環境省 HP『小水力発電情報サイト』等より作成

前述の太陽光発電と比べると風力発電は巨大な導入ポテンシャルがあることが分かる。ただし風力発電には資源の地域偏在性が高いという問題がある。北海道、東北に導入ポテンシャルが偏っているのである。なぜ地域偏在性が高いと問題なのであろうか。それは各電力管内での需要量と供給量が見合わなくなるからである。具体的には従来の電力供給能力（北海道 742 万 kW、東北 1655 万 kW）を導入ポテンシャルが超過しているが、他の電力管内に融通できる量も限られているため、導入ポテンシャルの大きさを活かしきれないかもしれない。

最後に中小水力発電をみる。中小水力発電は河川部と農業用水路の二つに分かれる。賦存量は河川部が 1700 万 kW、農業用水路が 32 万 kW である。導入ポテンシャルは河川部が 1400 万 kW、農業用水路が 30 万 kW である。合計すると 1400 万 kW となる。この調査では既開発分（960 万 kW）も含まれているので、それを控除すると導入ポテンシャルは 440 万 kW となる。導入ポテンシャルの 1400 万 kW、既開発分を除いたネットの導入ポテンシャルの 440 万 kW のいずれの数字で見ても、先の太陽光発電、風力発電に比べると導入ポテンシャルは低い。ただし中小水力発電の設備利用率は高いので電力量としては十分期待できる。

風力発電では地域偏在性が問題であったが、中小水力発電はどうであろうか。「ポテンシャル調査」（環境省, 2011, p. 155）によれば、風力発電とは異なり、その導入ポテンシャルは北海道から九州まで一様に分布している。つまり、中小水力発電は地域に根差した発電が可能であるといえる。

3-3. 導入の現状

ここでは中小水力発電の導入状況を明らかにする。資源エネルギー庁データベースによると、日本の水力エネルギー量の出力別包蔵水力（一般水力）は、2009 年 3 月時点で、小水力（出力 1000kW 未満）に関しては、既開発地点の電力量が 126 万 8665MWh、工事中の電力量が 2 万 9578MWh、未開発の電力量が 121 万 8611MWh である。また、中小水力（出力 3000kW まで）では、既開発の電力量が 4673 万 583MWh、工事中の電力量が 67 万 1835MWh、未開発の電力量が 3980 万 4394MWh である³⁾。

以上のデータから分かるのは、出力 1000kW までの狭義の小水力発電の未開発の電力量

は約 122 万 MWh であり、既開発の 127 万 MWh とほぼ同量の電力量が日本には開発されずに残っているということである。また、出力 3 万 kW までの既開発の水力発電は約 3980 万 MWh、出力 3 万 kW までの未開発の水力発電は約 4673 万 kW であり、現在稼働している中小水力発電所の 8 割以上の電力量が未開発のまま残っている。特に、出力 1000～5000kW の水力発電では、未開発の電力量が既開発の電力量の倍近く存在するため、開発が遅れていると言える。

3-4. 助成制度

近年、中小水力発電のための助成制度が整備されてきた。はじめに設備の設置までの助成制度をみていく。

水力開発促進のための施策の体系は、開発段階に応じた促進施策がある。開発段階は大きく 5 つに区分でき、(1) 開発可能性調査段階、(2) 設計段階、(3) 発電所建設段階、(4) 運開段階、(5) 再開開発段階である。2 つ目の設計段階では、設計と同時に環境調査も行われる。

また、促進施策も大きく 7 つに区分でき、

- (1) 有望地点の発掘（開発可能性調査の段階）
- (2) 技術開発及びコストダウン（開発可能性調査から設計段階、発電所建設段階まで）
- (3) 開発事業者の育成（設計と環境調査の段階）
- (4) 初期発電原価の低減（発電所建設と運転開始の段階）
- (5) 立地促進対策の推進（開発可能性調査から発電所建設、運転開始まですべての段階）
- (6) 環境保全対策の推進（開発可能性調査段階）
- (7) 水力開発促進のための条件整備（すべての段階）

である（カッコ内は対象とする段階を示す）。

補助金制度・助成制度はそれぞれの開発段階や促進施策に対応している。水力発電所の開発初期段階や水力発電所を建設する段階に対する助成制度・補助金制度は数多くあるが、ここでは特に小水力発電に関連する助成制度について取り上げる。具体的には、促進政策の (2) 段階の「小水力資源有効活用技術開発調査」、(3) 段階の「中小水力開発促進指導事業費補助金」、(4) 段階の「中小水力発電開発費補助金」「地域新エネルギー等導入促進事業」「新エネルギー等事業者支援対策事業」が、主な小水力発電に対する助成制度である。

「小水力資源有効活用技術開発調査」は新エネルギー財団が平成 14 年度から実施している補助事業である。落差・流量が小さくこれまで発電にあまり利用されてこなかった施設を対象に低コストで簡易な発電システムを作ることを目的とした調査である。対象とする開発規模は 500kW 程度以下とする。

「中小水力開発促進指導事業費補助金」は新エネルギー財団によって平成 19 年度から実施されている補助金制度である。補助対象事業者は一般電気事業者、公営電気事業者等卸供給事業者、卸電気事業者、特定規模電気事業者、特定電気事業者、自家用発電所を設置するもののうち、確度の高い計画を以って補助対象事業を行うものとされている。出力が 5000kW 以下の水力発電施設の設置等事業について費用の 20%を限度として補助がなされる。

「中小水力発電開発費補助金」は平成 15 年度から始まった経済産業省による補助金制度であり、1000kW～3 万 kW の水力発電を対象にしている。助成対象は一般電気事業者、卸電気事業者、公営電気等卸供給事業者、特定規模電気事業者、特定電気事業者、自家用水力発電所設置者である。1000kW から 5000kW の水力発電は費用の 20%を、5000kW を超えて 3 万 kW 以下の水力発電は費用の 10%を限度として国から補助される。事業目的は中小水力の初期発電原価を引き下げ、開発の促進を図り、電源の開発・利用に資することである。

「地域新エネルギー等導入促進事業」と「新エネルギー等事業者支援対策事業」は、1000kW 以下の小水力発電が 2008 年新エネルギー法の施行令改正により新エネルギーと認定されたために「中小水力発電開発費補助金」から分離したものである。いずれも平成 20 年度から始まった NEPC による補助金制度であり、1000kW 以下の小水力発電を対象としている。これらは小水力発電建設段階で最もよく使われる補助金制度であり、実施設計費、機器購入費、工事費、諸経費を補助範囲としている。違いは、「地域新エネルギー等導入促進事業」の補助対象者が地方公共団体、非営利民間団体（NPO、公益法人、土地改良組合など）であるのに対し、「新エネルギー等事業者支援対策事業」の補助対象者は民間企業（一般電気事業者、特定規模電気事業者なども含む）であること、また補助率が前者は補助率が最大 1/2 であるのに対して、後者は最大 1/3 とされていることである。

次に中小水力発電の操業後の助成事業についてだが、これは他の再生可能エネルギーとともに、再生エネルギー特別措置法（電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法。通称：再生エネ法）による電力固定価格買取制度の対象となっている。同法は 2011 年 8 月に制定され、2012 年 7 月に施行された。対象となる再生可能エネルギーは、太陽光、風力、中小水力（3 万 kW 以下）、地熱、バイオマスであり、これらを由来とする電力の全量買い上げを電力会社に義務付けるものである。ただし、買取費用は電気料金に上乗せされる（一部産業について軽減措置あり）。現行の買取価格については、資源エネルギー庁 HP「なっとく！再生可能エネルギー」⁴⁾で知ることができる。

以上のような助成制度の充実によって、資源エネルギー庁（2009）に示されているように、近年中小水力発電、特に小水力発電の設備数は増加しつつある。

4. 再生可能エネルギー導入の経済波及効果

4-1. 経済波及効果の定義

経済波及効果とは、ある産業の生産額や価格（単価）に変化が生じたとき、産業間の取引を通じて他の産業の生産額や価格（単価）に次々と影響を及ぼす効果のことを言う。大きく生産誘発効果と価格波及効果に分けることができる。

生産誘発効果とは、何らかの投資需要や消費需要があったとき、その需要を賄うために生産が誘発され、さらにその生産に必要な原材料や燃料が生産され、生産が生産を呼んでいろいろな産業の生産が誘発される効果をいう。生産の誘発をもとにして雇用の誘発や環境負荷物質の排出量を知ることができる。

一方、価格波及効果とは、ある財・サービスの生産価格が上昇することにより、その財・サービスを用いて生産している他の財・サービスの生産価格が上昇し、さらにその財・サービスを用いて生産している他の財・サービスの生産価格が上昇するという連鎖が生じることにより、結果として各産業の生産価格が上昇する効果を指している。

本研究では、産業連関表の平成 17 年東北地域産業連関表 53 産業分類の、火力、原子力、水力その他の電力生産額に注目し、その変化がもたらす生産誘発効果を経済波及効果とみなし分析する。ここで水力その他の電力生産額は、再生可能エネルギーによる発電を代表するものとする⁵⁾。

4-2. 地域

電力生産は主に東京電力や関西電力といった各地域の電力事業者によって行われている。このため分析は地域単位で行うことが自然と考えられる。本研究では東北地域を選んだ。その理由は、第一に第 2 節で紹介した中村他の先行研究（環境省, 2012）との比較が可能なこと、第二に東北電力管内の女川原発・東通原発 2 基の発電量が 327.4 万 kwh であり、環境省のポテンシャル調査（環境省, 2011）の試算によれば、これが中小水力発電のポテンシャル生産量 440 万 kwh とほぼ同じ規模であることによる。後に示すように、原子力発電を中小水力発電で代替した場合というシナリオを考えるが、東北地域ではこのようなシナリオはある程度現実性をもつものとする。

4-3. モデル

投入係数行列：電力 3 部門（化石燃料、原子力、水力その他）を除いたそれを $A(n \times n)$ 行列)とし、列部門の電力 3 部門のそれを $(A_e, S_e)((3+n) \times 3)$ 行列)、行部門の電力 3 部門のそれを $\tilde{S}=(S, S_e)(3 \times (n+3))$ 行列)とする。すなわち

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} A & A_e \\ S & S_e \end{bmatrix}$$

このように tilde 記号のついたものは全産業部門を表し、それがないものは電力 3 部門以外の産業、下付き添え字 e がついたものは電力 3 部門を表す。たとえば、 \tilde{X} は全産業の生産額ベクトル ($n+3$ 次) であり、 X_e は電力 3 部門の生産額ベクトル (3 次) を表す。 X は電力部門以外の生産額ベクトル (n 次) である。 \tilde{Y} で域内最終需要、 \tilde{E} で輸出を表す。 \tilde{M} は輸入係数であり、

$$\tilde{M} = \begin{bmatrix} M & 0 \\ 0 & M_e \end{bmatrix}, M = \begin{bmatrix} m_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & m_m \end{bmatrix}, M_e = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

ただし、 $M_e=0$ としているのは、東北地域には福島原発のように東京電力管内に輸出している電力があり、同質の財に関して同時に輸入していると考えことは産業連関表の考え方に沿わないことによる。 $n \times n$ の単位行列を I_n で表す。すなわち

$$I_n = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix} (n \times n \text{ 行列})$$

域外からの輸入の扱いについて、標準的な $[I - (I - \hat{M})A^{-1}]$ 型を仮定すると、投入産出関係が次のように表される。

$$\tilde{A}\tilde{X} + \tilde{Y} + \tilde{E} - \tilde{M}(\tilde{A}\tilde{X} + \tilde{Y}) = \tilde{X}.$$

この式を、電力 3 部門を分離して表すと

$$(A, A_e) \begin{pmatrix} X \\ X_e \end{pmatrix} + Y + E - M \left[(A, A_e) \begin{pmatrix} X \\ X_e \end{pmatrix} + Y \right] = X,$$

$$(S, S_e) \begin{pmatrix} X \\ X_e \end{pmatrix} + Y_e + E_e = X_e.$$

あるいは整理して

$$- (I_n - (I_n - M)A)X + (I_n - M)Y + E + (I_n - M)A_eX_e = 0$$

$$- (I_3 - S_e)X_e + SX + Y_e + E_e = 0.$$

電力 3 部門の現在の生産額と、以下で示すシナリオでの生産額をそれぞれ次のように表す。

$$X_e = (x_{e1}, x_{e2}, x_{e3}),$$

$$X'_e = (x'_{e1}, x'_{e2}, x'_{e3}).$$

その生産額の変化は他の産業部門の生産額の変化、最終需要の変化を引き起こす。域外への輸出は不変と仮定して、そうした変化後の生産額と最終需要 (X' , Y' , Y'_e) の関係式を求めると

$$\begin{bmatrix} I_n - (I_n - M)A & -(I_n - M) & 0 \\ -S & 0 & -I_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Y_e' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (I_n - M)A_e X_e' + E + (I_n - M)Y \\ (I_3 - S_e)X_e' - E_e \end{bmatrix}$$

となる。ここで左辺の行列は $(n+3) \times (2n+3)$ であり、 $(n+3)$ 本の方程式から $(2n+3)$ 個の (X', Y', Y_e') 解を求めることになる。そのような解は無数に存在している。したがって、特定の解を選ぶために仮定を追加しなければならない。ここでは次の仮定を置く。

仮定：電力生産額の変化は域内生産物の最終需要に変化を及ぼさない。

この仮定の下では各産業部門の生産額および電力 3 部門の最終需要のみが変化する。その変化を表す式は次で与えられる。

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y_e' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_n - (I_n - M)A & 0 \\ -S & -I_3 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} (I_n - M)A_e X_e' + E + (I_n - M)Y \\ (I_3 - S_e)X_e' - E_e \end{bmatrix}$$

さらにそれらの変化分を Δ の記号で表すならば（すなわち、 $\Delta X = X' - X$ 等）

$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_n - (I_n - M)A & 0 \\ -S & -I_3 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} (I_n - M)A_e \Delta X_e \\ (I_3 - S_e) \Delta X_e \end{bmatrix}$$

である。本研究におけるシナリオは ΔX_e で表される。そのシナリオに対応する地域波及効果は ΔX として計算される。

4-4. 産業連関表の調整

地域レベルの分析を行う上での問題点は、産業連関表の調整である。東北地域産業連関表・公表用基本分類では、行 404 列 350 部門があり、そこでは、化石、原子力、水力その他の電力生産が区別されて計上されている。一方、東北地域産業連関表は 53 分類のものであり、これらが電力として一括して計上されている。そこで、化石、原子力、水力その他の電力生産については、平成 17 年東北地域産業連関表・公表用基本分類から投入係数を求め、それを平成 17 年東北地域産業連関表に外挿することにした⁶⁾。

4-5. シナリオ

本研究では、東北地域において原子力発電を中小水力発電に代替した場合の経済波及効果を分析した。東北地域の平成 17 年における電源別発電電力量の比を用いて、平成 17 年東北地域産業連関表の電力部門の生産額を新設した事業用原子力発電部門、事業用火力発電部門、水力その他の事業用発電部門に配分した。具体的な数値は次ページの表 4-1 の通りである。

本研究では、分析シナリオとして次を考える。

- (1) 原子力発電をすべて中小水力発電に置き換える。
- (2) 原子力発電を火力発電と中小水力発電に 1/2 ずつ置き換える。

表 4-1 東北地域の電源別電力生産額の推計

	構成比	生産額（百万円）
平成 17 年東北地域の電力部門	100%	22,201,826
事業用原子力発電	15%	330,274
事業用火力発電	67%	14,752,233
水力その他の事業用発電	18%	396,329

注：平成 17 年東北地域産業連関表より推計

(3) 原子力発電と火力発電をすべて中小水力発電に置き換える。

ここでシナリオ（1）は、原子力発電が行われなくなることを想定しそのすべてを中小水力発電で置き換えたとするものである。これは、東北地域の全原発による発電量を中小水力発電の導入ポテンシャルは上回っていることから、必ずしも実現不可能なシナリオではない。しかし、直ちに中小水力発電が有する導入ポテンシャル分のすべてが開発され利用されると考えることは現実的とはいえない。そこで原発の発電量を火力発電と中小水力発電で置き換えるとしたものがシナリオ（2）である。これは比較的近い将来の状況に対応するシナリオといえる。これに対して、遠い将来の状況を表すのがシナリオ（3）である。すなわち脱原発だけでなく、温暖化対策の観点から脱化石燃料が目指されていることを考慮して、原発と火力発電のすべてを再生可能エネルギーで置き換えるとするものである。ただし、このシナリオによる再生可能エネルギーによる発電量は、現在試算されている導入ポテンシャルを超えるので、その実現には何らかの技術進歩が起きる必要がある。また、それが可能となる遠い将来には投入技術係数も変化しているはずである。これらのことを留意した上で、シナリオ（3）の試算結果は評価される必要がある。

4-6. 分析結果

表 4-2 に各シナリオの経済波及効果を示した。最後の行にその総額が示されている。すなわち、シナリオ（1）では 72 億円の生産減が生じる。シナリオ（2）では、2 兆 4012 億円の生産減が生じる。シナリオ（3）では、21 兆 3797 億円生産が増加するという結果が得られた。

5. 考察

本研究では、東北電力管内の女川原子力発電所、東通原子力発電所が運転を停止・廃炉になったことを想定し、その発電分を補うものとして再生可能エネルギー、とりわけ中小水力発電を導入することによる東北地域への経済波及効果をシナリオ別で分析した。分析の結果、シナリオ（1）、（2）からは、原子力発電が行われず、火力発電に依存した状態で

表 4-2 シミュレーション結果：生産誘発額

単位：百万円

部門	シナリオ 1 結果	シナリオ 2 結果	シナリオ 3 結果
農林水産業	255	-1,823	18,817
鉱業	-571	2,448	-27,543
石炭・原油・天然ガス	-4,371	-1,533,203	13,653,198
飲食料品	18	-755	6,924
繊維工業製品	-1	41	-379
衣服・その他の繊維既製品	0	-1,347	12,035
製材・木製品・家具	1,361	-5,479	62,460
パルプ・紙・板紙・加工紙	-90	-12,455	110,366
印刷・製版・製本	-541	-9,089	75,818
化学基礎製品	81	-2,397	22,213
合成樹脂	38	-1,075	9,981
化学最終製品	49	-3,012	27,387
医薬品	-21	-1,024	8,943
石油・石炭製品	110	-11,480	103,651
プラスチック製品	324	-7,781	72,723
窯業・土石製品	2,486	-4,217	62,365
鉄鋼	2,148	-36,682	349,026
非鉄金属	-168	-4,967	42,708
金属製品	3,586	-45,273	440,059
一般機械	-107	-8,975	79,107
事務用・サービス用機器	-185	-1,890	15,053
産業用電気機器	23	-1,057	9,668
その他の電気機械	91	-495	5,323
民生用電気機器	7	-64	644
通信機械・同関連機器	55	-282	3,068
電子計算機・同付属装置	-5	-68	556
電子部品	-192	-3,563	29,926
乗用車	0	0	0
その他の自動車	1	45	-396
自動車部品・同付属品	-1,026	-12,881	104,872
その他の輸送機械	-10	-162	1,348
精密機械	-10	-476	4,154
その他の製造工業製品	-176	-6,384	55,284
再生資源回収・加工処理	-11,171	-11,973	-4,003
建設	41,971	14,467	287,672
ガス・熱供給	53	-1,111	10,448
水道・廃棄物処理	-1,221	-15,231	123,934
商業	1,627	-44,043	409,607
金融・保険	-736	-125,410	1,113,019
不動産	918	-53,327	485,506
住宅賃貸料（帰属家賃）	0	0	0
運輸	-4,588	-45,418	360,162
その他の情報通信	-1,839	-56,858	489,670
情報サービス	-3,596	-15,630	103,904
公務	-189	-10,008	87,523
教育・研究	2,636	-49,605	469,322
医療・保健・社会保障・介護	-195	-9,945	86,911
広告	-1,066	-12,698	102,852
物品賃貸サービス	-22,262	-77,408	470,379
その他の対事業所サービス	-9,782	-122,081	993,423
対個人サービス	-21	-1,659	14,610
その他	-898	-47,506	415,469
生産額の変化の合計	-7,202	-2,401,266	21,379,764

は東北地域には負の経済効果を生むことが分かった。原子力発電は中小水力発電と比べて中間投入構造が地域経済に波及しやすい、つまり、地域の各産業との結びつきが強いためシナリオ(1)では生産減が生じていると考えられる。また、火力発電は原料(化石燃料)の輸入が非常に大きいことが影響しているため、シナリオ(2)では生産減少額が大きくなると考えられる。シナリオ(3)からは、原子力発電・火力発電を代替するものとして中小水力発電を導入することは東北地域に大きな生産増をもたらすことが分かった。これは、輸入が大きい火力発電を代替したこと、中小水力発電の中間投入は全て東北地域で賄うと想定していることによると考えられる。中村他(2012)の研究(環境省, 2012)では、どのシナリオにおいても東北地域では生産増の結果が得られているが、これは関東地域への売電の効果によると考えられる。すなわち、再生可能エネルギー由来の電力を域外へ輸出し「外貨」を稼ぐことで得られる経済効果を除去すると、原発を再生可能エネルギーで置き換えた場合には負の経済波及効果が生じるのである。

エネルギー生産企業の立場では、FIT等の政策により採算性が改善され、再生可能エネルギーを導入することに積極的になる誘因があるが、地域の立場では、地域経済に対してより大きな利益をもたらす施設の設置が望ましい。しかし、本研究では、原子力発電の代替として中小水力発電を導入することが地域経済に対して負の経済効果をもたらすことが確認された。

この結果は、中小水力発電の普及にとって必要な政策課題を明らかにするとともに、その普及の戦略を示唆するものである。すなわち、地域に中小水力発電を受け入れてもらうためには、単に各発電施設の採算性を改善する政策だけでなく、地域にとってそれが望ましい経済効果をもたらすような政策が必要であるということである。一方で、中小水力発電の規模が小さくなればなるほど、ステークホルダーの数も減少し、地域の下解を得る必要もなくなる。このことから、当面は、小規模水力発電の普及に政策支援の力点を置くことが、迅速な普及を促すことになるのではないかと考えられる。

分析から得られたもう一つの興味深い知見は、再生可能エネルギーで火力発電を代替することで非常に大きな地域波及効果が発生することである。脱原発だけでなく、脱化石燃料もまた重要な政策課題となっている。現実には、化石燃料の中でも温室効果ガスをより少なく排出する天然ガスへの燃料の転換が、現実的かつ社会にとって望ましい温暖化対策である。しかし、天然ガスもまた輸入原料である。したがって、天然ガスへの転換が一段落した後、火力から中小水力発電をはじめとする再生可能エネルギーへと転換を図ることは、温暖化対策として重要であるだけでなく、その多大な経済波及効果の可能性によって、地域経済に重要な課題となることがわかる。

謝辞

産業連関分析の応用にあたって早稲田大学社会科学総合学院鷺津明由教授から有益な示唆をいただきました。ここに記して感謝申し上げます。

注

- 1) 大規模なダム開発を伴う大水力発電は環境への影響が大きいので、一般には再生可能エネルギーには含まれないことも多い。
- 2) 「ポテンシャル調査」では太陽光発電の賦存量は試算していない。
- 3) 包蔵水力とは、発電水力調査により明らかになった日本が有する水資源のうち、技術的・経済的に利用可能な水力エネルギー量のことをいう。包蔵水力は、「既開発（これまでに開発された水力エネルギー）」「工事中」「未開発（今後の開発が有望な水力エネルギー）」の3つに区分される。本文中の数値は、「既開発」が平成21年3月31日現在において運転中のものの集計値、「工事中」は第4回電源開発分科会（平成14年7月12日）までに決定されたもの及び電気事業法に基づき平成21年3月31日までに工事計画事前届出が受理されたものの集計値である。
- 4) <http://www.enecho.meti.go.jp/saiene/kaitori/kakaku.html>
- 5) 以下、本節の分析は（大）水力発電を主とする再生可能エネルギー全般の投入係数に基づくものとなっている。
- 6) この方法について鷺津明由教授から示唆を頂いたことを感謝します。

参考文献

- [1] 一般社団法人 新エネルギー導入促進協議会 HP『中小水力発電開発費補助金』http://www.nepc.or.jp/topics/2011/0427_1.html（アクセス 2012/12/14）
- [2] 環境省（2012）『平成23年度 環境経済の政策研究 環境・地域経済両立型の内生的地域格差は正と地域雇用創出、その施策実施に関する研究 最終研究報告書』http://www.env.go.jp/policy/keizai_portal/F_research/f06-04.pdf（アクセス 2012/12/14）
- [3] 環境省（2011）『平成22年度 再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査』<http://www.env.go.jp/earth/report/h23-03/chpt5.pdf>（アクセス 2012/12/14）
- [4] 環境省 HP『小水力発電情報サイト』<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/shg/page01.html>（アクセス 2012/12/19）
- [5] 資源エネルギー庁（2009）『水力・地熱発電、雪氷エネルギー等の現状と取組について』www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g90309c04j.pdf（アクセス 2012/12/15）
- [6] 資源エネルギー庁 HP『小水力資源有効活用技術開発調査報告書』http://www.enecho.meti.go.jp/hydraulic/data/dl/dl_data/yu_02.pdf（アクセス 2012/12/14）
- [7] 資源エネルギー庁 HP『地域エネルギー開発利用発電事業促進対策費補助金』<http://www.enecho.meti.go.jp/hydraulic/living/policy/grant/top4.html>（アクセス 2012/12/14）
- [8] 資源エネルギー庁 HP『なっとく！再生可能エネルギー』<http://www.enecho.meti.go.jp/saiene/index.html>（アクセス 2012/12/14）
- [9] 資源エネルギー庁 HP『日本の水力エネルギー量』<http://www.enecho.meti.go.jp/hydraulic/index.html>（アクセス 2012/12/14）
- [10] 資源エネルギー庁 HP『ハイドロバレー計画』<http://www.enecho.meti.go.jp/hydraulic/data/dl/G02.pdf>（アクセス 2012/12/14）
- [11] 新エネルギー・産業技術総合開発機構『平成16年度 NEDO 太陽光発電ロードマップ』<http://www.nedo.go.jp/content/100116421.pdf>（アクセス 2012/12/19）
- [12] 全国小水力利用推進協議会 HP『小水力利用の基礎知識』<http://j-water.jp/hmc/index.html>（アクセス 2012/12/14）
- [13] 東北電力 HP『ファクトブック』<http://www.tohoku-epco.co.jp/ir/report/factbook/pdf/fact02.pdf>

(アクセス 2012/12/14)

- [14] 安田秀穂 (2008)『自治体の経済波及効果の算出』学陽書房